

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特許公報 (B 2)

(11) 特許番号

第 2 8 1 8 7 3 5 号

(45) 発行日 平成10年(1998)10月30日

(24) 登録日 平成10年(1998)8月21日

(51) Int. Cl.⁶ 識別記号
C 0 3 B 37/018
G 0 2 B 6/00 3 5 6

F I
C 0 3 B 37/018 B
G 0 2 B 6/00 3 5 6 A

請求項の数 1 9

(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-296079
(22) 出願日 平成6年(1994)11月30日
(65) 公開番号 特開平7-206462
(43) 公開日 平成7年(1995)8月8日
審査請求日 平成7年(1995)1月13日
(31) 優先権主張番号 159179
(32) 優先日 1993年11月30日
(33) 優先権主張国 米国 (U S)

前置審査

(73) 特許権者 390035493
エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション
AT&T CORP.
アメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨーク
ニューヨーク アヴェニュー オブ
ジ アメリカズ 32
(72) 発明者 フレッド ボール パータス
アメリカ合衆国 30342 ジョージア, ア
トランタ, エヌイー, グリーンヒル プレ
イス 5270
(74) 代理人 弁理士 岡部 正夫 (外1名)

審査官 大工原 大二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバブリフォームの作製方法

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 酸化媒体とともに、少なくとも 1 つの化合物ガラス形成プリカーサを含む気体混合物の移動流を、管中に導入する工程及び管の外部表面上に、水素を含まない等温プラズマを発生させ、それによって混合物は反応し、管の内部表面上に、ガラス堆積物が生成する工程、
を含む本質的に O H 不純物を含まないガラスブリフォームの作製方法。

【請求項 2】 前記生成工程は、酸素プラズマを発生する請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 前記プラズマは更にアルゴンを含む請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】 ガラス堆積物が生成した後、管をつぶす工程が更に含まれ、ガラスプリカーサ反応物気体は、少

2

くともつぶし工程の一部の間、管中に保たれる請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】 管の温度を変えるために、酸素流を調整する工程が更に含まれる請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】 管の温度を変えるために、プラズマに供給される無線周波エネルギーを調整する工程が、更に含まれる請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】 管に対するプラズマの相対位置を調整し、それによって管の温度を変化させる工程が更に含まれる請求項 4 記載の方法。

【請求項 8】 酸化媒体とともに、少なくとも 1 つの化合物ガラス形成プリカーサを含む気体混合物の移動流を、管中に導入する工程及び管の外部表面上に、水素を含まない等温プラズマを発生させ、それによって混合物は反応し、管の内部表面上に、ガラス堆積物が生成する工程

を含む方法に従って作られた、OH不純物を本質的に含まないガラスプリフォーム。

【請求項 9】 前記生成工程が、酸素プラズマを生成する請求項 8 記載のガラスプリフォーム。

【請求項 10】 前記プラズマは更に、アルゴンを含む請求項 9 記載のガラスプリフォーム。

【請求項 11】 ガラス堆積物が生成した後、管をつぶす工程が更に含まれ、ガラスプリカーサ反応物気体は、つぶす工程の少くとも一部の間、管中に保たれる請求項 8 記載のガラスプリフォーム。

【請求項 12】 管の温度を変えるために、酸素流を調整する工程が、更に含まれる請求項 8 記載のガラスプリフォーム。

【請求項 13】 管の温度を変えるために、プラズマに供給される無線周波エネルギーを調整する工程が、更に含まれる請求項 8 記載のガラスプリフォーム。

【請求項 14】 管に対するプラズマの相対位置を調整し、それによって管の温度を変える工程が更に含まれる請求項 8 記載のガラスプリフォーム。

【請求項 15】 酸化媒体とともに、少くとも 1 つの化合物ガラス形成プリカーサを含む気体混合物の移動流を、管中に導く工程、及び管の外部表面を加熱し、それによって混合物が反応し、管の内部表面上にガラス堆積物が生成する工程が含まれ、管の外部表面を加熱するために、水素を含まない等温プラズマトーチを用いる工程を含むよう改善された OH 不純物を本質的に含まないガラスプリフォームの作製方法。

【請求項 16】 前記生成工程は、酸素プラズマを発生させる請求項 15 記載の方法。

【請求項 17】 前記プラズマは更に、アルゴンを含む請求項 16 記載の方法。

【請求項 18】 管の温度を変えるため、プラズマに供給される無線周波エネルギーを調整する工程が、更に含まれる請求項 15 記載の方法。

【請求項 19】 管に対するプラズマの相対位置を調整し、それによって管の温度を変える工程が更に含まれる請求項 15 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は一般に、光ファイバの分野、より具体的には、それから光ファイバを引く光ファイバプリフォームの作製に係る。

【0002】

【従来の技術】 遠距離通信、医学及び測定に、光ファイバ（光導波路）が広く用いられることは、低損失ガラスファイバの出現に、一般に直接関連している。ある程度の損失は固有であるが、低損失ファイバは製造中ファイバに入れ込む損失機構を減すことから、得られる。他のものもあるが、これらの機構には、光吸収体として働く

不純物及びファイバの内側での光の散乱をひき起す形状的な歪が、含まれる。

【0003】 加えて、低損失光ファイバの広範な展開には、一般に厳しい環境に置かれても耐える材料の強さを、ファイバがもつことが必要とされてきた。これは著しい機械的応力を発生し、ファイバを弱くしたり、損失を増す原因となりうる気泡や化学的不純物のような構造的欠損を減すことにより、容易になる。典型的な場合、ガラスプリフォームから引かれる光ファイバ中の損失機構及び構造的欠陥は、ガラスプリフォーム中に存在するこれらの不完全性から生ずる。従って、効率よく高強度、低損失ガラスファイバを作製するためには、ガラスプリフォーム中に存在する損失機構及び構造的欠陥を減す技術を、用いなければならない。

【0004】 損失機構及び構造的欠陥が、プリフォーム表面の不完全性から生じる時、不完全性を含む表面材料を除去すること（この除去プロセスは、エッチングプロセスとよばれる。）により、本質的に取り除ける。機械的切削、化学エッチング及びプラズマエッチングのようなエッチング技術が、使用でき、それらはガラスプリフォームに適用できる。

【0005】 従来の化学エッチングは比較的遅く、典型的な場合清浄なプロセスではない。ある程度の不完全性は化学反応により除去されるが、別の不完全性か、エッチング反応の副産物として、導入される。加えて、化学エッチングは典型的な場合速く進み、それは一般的に、プリフォーム表面材料を、選択的に除去するのには、適さない。

【0006】 機械的切削は、通常のプロセス環境には適応するが、ガラスプリフォーム中に機械的応力を導入する可能性があり、プリフォームに構造的欠陥を発生させる（たとえば、プリフォームを貫いて伝搬しうるクラックの形成）可能性がある。

【0007】 不完全性は、等温プラズマトーチを用い、導電性プラズマ領域（プラズマ火球）とプリフォーム表面を接触させることによって、速くかつ清浄に、除去することができる。表面材料は等温プラズマトーチのきわめて高いプラズマ温度（プラズマ火球中心で $> 900^{\circ}\text{C}$ ）のため、気化により、本質的に除去される。プラズマ火球のテイル中の温度は、プラズマ中心より、本質的に低い、温度はなお一般に数千 $^{\circ}\text{C}$ である。これらのテイル温度は典型的な場合、ほとんどの耐熱性誘電体を気化させるのに十分高く、従って、プリフォームの表面から不純物も取り除く。そのような不純物は、限定はされないが、OH 型不純物、特に水を含む。OH 型不純物は堆積中、水素が酸素と反応する結果である。水素の源は、プリカーサ化学物質、最初の管又は熱源からプリフォーム中への水素の拡散にある。

【0008】 上の方法はプリフォームの外部表面から、不純物及び不完全性をとり除くのに十分であるが、純

度の低い化学物質の結果ではないプリフォームの内部の不純物の問題が、まだ残る。従って、望ましいのは、得られる光ファイバ製品中のOH型不純物を避けるために、堆積プロセスから、本質的に水素を除去する光ファイバプリフォームの作製方法である。

【0009】

【本発明の要約】本発明は水素を含まない加熱源を用いた、光ファイバプリフォームの作製方法に向けられている。この方法は、管の外部表面上に、水素を含まない等温プラズマを発生させながら、管中に酸化媒体とともに、少なくとも1つの化合物であるガラス形成プリカーサを含む気体混合物の流れを導入し、それによって混合物が反応し、ガラス状の堆積物が、管の内部表面上に生成する工程を含む。

【0010】本発明の方法は、AT&Tベル研究所によって開発された修正化学気相堆積(MCVD)プロセスを、基本としている。本発明者は、MCVDプロセスにおいて、従来用いられている酸水素加熱源を、水素を含まないプラズマトーチで置き代えた。このようにプロセスから水素を除くことにより、MCVDプロセス中、プリフォーム中での水の形成が、最小になる。従って、本発明に従うと、OH型不純物は得られる光ファイバ製品中で、最小になる。

【0011】本発明の上述の特徴及び他の特徴、利点は、添付された図面とともに、本発明の好ましい実施例の以下のより具体的な記述から、明らかになるであろう。

【0012】

【好ましい実施例の詳細な記述】本発明の好ましい実施例について、詳細に述べる。具体的な部分、形態及び構成について述べるが、これは説明のためだけに行うことを、認識する必要がある。当業者は本発明の精神及び視野を離れることなく、他の工程、形態及び構成を用いることができることを、認識するであろう。

【0013】更に、半導体固体物理に関する背景については、エス・エム・シー(S. M. Sze)による半導体デバイスの物理と題する本、ジョン・ウィリー・アンド・サンズ社、ニューヨーク(1981)及び半導体デバイス、物理及び技術と題する本、ジョン・ウィリー・アンド・サンズ社、ニューヨーク(1985)の2冊の本に含まれる多くの文献に見出すことができる。これらの2冊の本は、ここに参照文献として、含まれている。修正化学気相堆積(MCVD)の議論は、ゲルド・カイザー(Gerd Keiser)による光ファイバ通信と題する教科書、マグローヒル(1983)の10-2-3章にある。この教科書も、ここに参照文献として、含まれている。

【0014】本発明者は水素を含まない加熱源を用いた光ファイバプリフォームの改善された作製方法を発見した。本発明のMCVDプロセスは、米国特許第4, 33

4, 903号(以後'903特許とよぶ)に述べられているものと、本質的に同じであるが、本発明者は'903特許中で述べられている酸水素バーナーを、水素を含まない等温プラズマトーチで、置き代えた。たとえば、MCVDプロセス中で酸素プラズマトーチを用いると、加熱源による水素の導入が、除かれる。このようにプロセスから水素が除かれると、プリフォーム中でのOHの形成が、最小になる。従って、本発明に従うと、OH型不純物は得られる光ファイバ製品中で、最小になる。

10 【0015】本発明の方法で用いる好ましい酸素プラズマトーチについては、米国特許第5, 000, 771号(以後'771特許とよぶ)中で明らかにされている。'771及び'903の両方の特許が、ここに参照文献として、含まれている。

【0016】本発明の方法を実施するために用いられる装置の説明に移ると、図1には基板管102を保持する旋盤101が描かれており、その中に加熱手段104により、高温領域103が作られる。本発明の方法に従うと、加熱手段104は以下で述べるように、酸素放電ガス源を有する等温プラズマトーチである。管102は図示されていない手段により、たとえば矢印105aで示される方向に回転させてよく、高温領域103はたとえばねじり部106により、二方向矢印105bで模式的に示されるように、加熱手段104の移動により、管102を縦断させてよい。気体材料が入力管107を通して管102中に導入され、入力管は原料源容器108に接続されている。そのような容器107は、図示されていない酸素入力109を含んでよい。図示されるように、気体材料はまた、図示されていない手段により、入力110及び111によって導入され、容器113から入力112を通して、導入してもよい。容器114及び115は通常液体の反応物質を含み、それはキャリアガスがそのような液体116及び117を通してバブルするように構成された入力110及び111を通して導入されたキャリアガスによって、管102中に導入される。排出物質は、出力118を通して、排出される。図示されていないのは、混合弁と閉鎖弁で、それらは流れを測定し、組成の他の必要な調整をするために、用いてよい。図1の装置は、一般に水平に配置される。

40 【0017】図2の装置は、その動作特性が、図1のそれと、非常に似ている。しかし、基板管を垂直に配置することにより、高温領域内の管の部分が安定化し、問題となる歪なしに、移動方向に、にり高い温度又はより長い高温領域を得ることが、可能となる。描かれた装置は、基板管102を含み、それには必要に応じて、図示されていない回転手段を設けてもよい。この管はチャック221及び222により、装置に固定され、加熱手段104により、基板管102内へ、移動する高温領域が生じ、それは加熱手段104により二方向の矢印224によって示された方向に、基板管102を一定に移動さ

せられる。たとえば、図 1 の 1 0 8 のような源からの気体材料は、入力管 2 2 6 を通して導入され、排気 2 2 7 を通して、材料残留物を排出する。

【0 0 1 8】図 3 は堆積中観測される基板管 1 0 2 の一部の正面図である。描かれているのは、加熱手段 1 0 4 でそれは図示されていない手段により、矢印 3 3 3 によって示される方向に、基板管 1 0 2 を移動するプラズマ火球 3 3 1 を生じる。気体材料は基板管 1 0 2 の左端で導入され、断面図の中で、矢印 3 3 4 によって示された方向に流れる。高温領域 3 3 2 の下流の領域 3 3 5 は粒状酸化物材料の移動する粒末浮遊物で満され、一方領域 3 3 6 には一般にそのような粒状物質はなく、堆積した材料の溶融がその中で起っている領域を、規定する。

【0 0 1 9】図 4 は' 9 0 3 特許に従って作製された光ファイバで測定された 1 キロメートル当りデシベル単位 (dB/km) での損失についての、第 1 のプロット 4 0 2 (実線) である。損失は約 1 5 5 Q nm の波長範囲で、約 0. 1 5 dB/km の最小値 (プロット上の限界) をとることがわかる。1 2 4 0 及び 9 4 5 nm とともに、約 1 3 8 5 nm におけるピークは、基本的な水による吸収の、特徴的な分周波である。

【0 0 2 0】図 4 は本発明に従って作製されたプリフォームから引かれた一定の長さの光ファイバに期待される損失を表わすプロット 4 0 4 (破線) も示す。基本的な OH 吸収の分周波は、事実上除去されている。なぜなら、プリフォームが作製される間、基板管への水素の拡散が、妨げられているからである。

【0 0 2 1】

【反応温度】表面的には、本発明の技術は、従来の化学気相堆積に似ている。一般に、反応生成物の 5 0 % かそれ以上は、基板表面から離れた位置に生成し、所望のガラス組成の固体酸化物粒子が形成される。

【0 0 2 2】均一な反応は、十分な速度の反応物導入と、十分な反応温度の結果である。そのような条件は、均一な反応が最終的に観測されるまで、1 ないし両方のパラメータを、単に増すことによって、達成される。反応の観点からプロセスを最適化するために、高温が用いられる。好ましい実施例を含む通常のシリカを基礎とした系では、少なくとも基板内部における温度は、一般に高温領域に対応した移動位置において、1 2 0 0 °C の最低温度に保たれる。最高温度は最終的に、著しい壁の歪によって制限される。1 8 0 0 °C 以上の温度において、約 1 0 0 rpm の速度で回転する管の周囲を、約 2 - 2 0 cm/分の速度で高温領域が移動する図 1 に示されたような水平に配置された装置の場合、有害な管の歪は生じない可能性がある。高温領域の長さの減少、回転速度の上昇、反応物流量の増大及び管の垂直配置は、すべて管の形状に変化を起さずに、より高い最高温度の使用を可能にする要因である。示されている温度は、管外部表面に焦点をあわせた光パイロメータにより測定されたもので

ある。典型的な条件の場合、管の熱勾配は、3 0 0 °C と高い可能性がある。

【0 0 2 3】【反応物】例として、塩化物及びハロゲン化物を用いて、行った。プロセス条件下で十分な蒸気圧をもち、酸素又は酸素を含む条件と反応して、必要な酸化物ガラスを生成する他の気体材料と、置きかえてもよい。典型的な系では、基板管はシリカである。導入される第 1 の反応物は、アンドープシリカ又は屈折率を変える役割をし、クラッドの一部として働き、管からの不純物の拡散障壁となる酸化物ドーブシリカの第 1 の層を、形成するようなものである。第 1 の障壁層の形成の後又は管が十分高純度である場合は、そのようなプロセスなしに、所望の屈折率増加コアを生じるような性質の反応物質が、導入される。塩化物系において、これらはたとえば GeCl_4 及び酸素と SiCl_4 の混合物という形をとってよい。リン、チタン及びアルミニウムのような他の屈折率増加材料の塩化物を、 GeCl_4 と置きかえるか、混合してもよい。溶融温度が下るため、ガラス形成を容易にする目的で、 F_2O を含めることができ、屈折率を下るために BCl_3 又はフレオンを、(GeCl_4 又は他の屈折率低下ドーパントプリカーサを増すか、 BCl_3 及びフレオンを減すことにより) 屈折率が上昇するように、その後の高温領域移動中、最初の混合物を変更してもよい。

【0 0 2 4】通常の気相ガラスプリカーサ化合物は、酸化性でないため、最終的な酸化物ガラスを形成する目的で、一般に酸素又は適切な酸素含有化合物を含める。例のプロセスに続く十分なプロセスは、液相ガラス形成化合物の容器を通して、酸素流をバブルさせる形をとる。たとえば、1 つのプロセスにおいて、酸素流は四塩化シリコン及び四塩化ゲルマニウムを通して、バブルさせた。次に、これらの流れは追加する酸素と組合され、得られた混合物は、反応室に導入された。

【0 0 2 5】ガラス形成成分の相対的な量は、蒸気圧、温度、流量、所望の屈折率といった各種の要因に、依存する。示した例は、指示された条件下で、指示された屈折率を生じるのに適した量を示す。ガラス形成プロセスに慣れた人には、変更は知られている。

【0 0 2 6】指示された理由のために、各種の希釈材料を用いることができる。たとえば、アルゴン、窒素、ヘリウム等は所望の流量を保つために役立つことがある。全体又は一部を酸素と置きかえる酸素を含んだ化合物には、 N_2O 、 NO 、 CO_2 及び同様のものが含まれる。

【0 0 2 7】一般に、ガラス流中の 3 d - 遷移金属不純物の濃度は、1 0⁻² パーセント以下に保たれるが、損失を更に減すためには、それらの不純物を十億分の 1 以下に減すことを伴う。そのような水準はエイチ・シー・チューラー (H.C.Theuerer) の米国特許第 3, 0 7 1, 4 4 4 号で述べられているものと同様の手段により、純化することによって、市販の原料から容易に得られる。通常のストプロセスに比べると、本発明のプロセスは、

燃焼生成物に直接露出することなく、制御された雰囲気中で、行われる。このことにより、粒状の燃焼生成物を含むことが、本質的に避けられる。水素を含まない加熱源を用いることによって、スートプロセス中の燃焼物が水化することが、最小になる。これは従来技術に対する本発明の特に重要な利点である。従来技術と関連づけて上で述べたように、赤外スペクトルのいくつかの部分は、基本的なOH吸収の分周波の影響を受ける。これらの分周波は、本発明の方法に従って、本質的に減らされる。たとえば、1385nmにおけるピークは、0.4dB

10 /kmより小さくできる。
【0028】〔一般的なプロセス〕堆積は内径19mm、外径25mmのシリカ管内で起った。管は中で100rpmで回転されるガラス旋盤上に、配置された。反応物の導入前に、壁は1700℃の温度にするのに十分な水素を含まない酸素プラズマトーチを移動させながら、酸素の連続した流れを、吹きつけた。目的は管の内壁上の揮発性不純物を、除去することである。

20 【0029】酸素の混合物に続いて、 SiCl_4 及びフレオンを酸素流に加えた。温度は（壁において測定された移動高温領域内で）1700℃に保たれた。この具体例において、領域は順方向（ガスの流れの方向）に、約10cm/分の速度で移動させ、その最初に位置に、短時間で戻した。

【0030】高温領域の一般に下流の壁から離れた位置の管内に、スート材料が形成されるのが、目視された。均一な反応物は、主として領域内にあり、粒子は移動するガスによって、下流に運ばれることが推論され、証明された。堆積は、約4時間続けた。

30 【0031】この時点までのプロセスにより、クラッドとして働く層が堆積した。次に、 SiCl_4 及び GeCl_4 の導入により、コア材料を堆積させた。これらの反応物はまた、前と同様、酸素キャリアとともに、導入された。高温領域の温度を約1600℃まで、幾分下げ、堆積を数時間又はそれ以上続けた。

40 【0032】この具体例において、管のつぶしは、単に高温領域の移動速度を下ることにより、 CCl_4 及び O_2 をなお流しながら開始した。これによって温度は上昇し、最終的には約2000℃以上の高さになり、ほぼ完全につぶれた。次に、最終的なつぶしとともに、反応物の流れを止めると、 GeO_2 - SiO_2 コアから成る完成したプリフォームが得られ、シリカ層により、フッ素ドーパクラッドが、支持される。ファイバを引張ることに従事している人には、管は最初にすぶることなく、許容しうるファイバに引くことも可能なことが、認識されるであろう。次に、得られたプリフォームは引かれ、下のドーパ層内の領域と規定されるコア領域を有する約110μmの外径をもつファイバが得られた。引かれたファイバの長さ

レス、ニューヨーク）（1967）、110-117頁にある程度詳細に述べられている方法は、ファイバに付随したプリフォームの一端を、局所的に加熱することを含み、ファイバは15cmの回転部に巻くことより、約60メートル/分の一定速度で、引かれた。

【0033】〔水素を含まない加熱源〕上述のように、図4のなめらかな曲線404は、得られた光ファイバ中の水（すなわちOH不純物）が、除去されたためである。堆積中のプリフォーム内に、水が形成されることは、基板管を貫いて拡散し、流れの中の酸素と反応する水素の源がないため、妨げられる。

【0034】図5は本発明に従う水素を含まない加熱源の例を、概略的に描いたものである。加熱源104は管508により、ガス源506に接続された熔融シリカマントル504を含むプラズマトーチである。ガス源506はプラズマ放電に用いる所望のガスを、マントル504中に送る。プラズマ火球510はRFコイル512及びRF発生器514（あわせてRF源とよぶ）により、励起される。典型的な従来技術のプラズマトーチにおいて、ガス源は一般に、イオン化しうるガスを供給するために用いられ、プラズマ火球は基本的には、トーチの閉じ込め領域516内に含まれる。

【0035】しかし、プラズマ火球510の本質的な部分は、イオン化しうる放電ガスに、高イオン化閾値ガスを加えることにより、閉じ込め領域516から、押し出すことができる。ガスを加えることにより、プラズマを形成する目的で、ガス中にRFエネルギーを結合させるために、より高いエネルギーを必要とする領域が、閉じ込め領域の上部に生じる。しかし、プラズマは自然に、形成に対する抵抗が最も低い位置（すなわち、エネルギーの条件が一般に最低の位置）に、形成される。要するに、高閾値ガスは、プラズマ形成の最適位置の主要部分を、閉じ込め領域516の外に、移動させる。トーチの外側の火球部分は、典型的な場合、火球の50%より少ない。なぜなら、安定なプラズマを保つには、RF源からプラズマ中に、十分なエネルギーを結合させるために、プラズマ中心をトーチ内に保つことが、一般に必要なからである。903特許は更に、高イオン化閾値ガスの実施例について、述べている。

【0036】加えて、体積の約30%ないし50%がトーチの外に延びた火球で操作することにより、一般にRH源のパワーには、より強い条件が課せられる。しかし、プラズマ中心をトーチの出口の方に押しやることによって、プラズマ火球は容易に、基板管102に接触できる。

【0037】シリカプリフォームの表面温度に影響を与えるそのパラメータには、熱容量、熱伝導率、放熱性、気化熱が含まれる。プリフォーム表面温度に影響を与える他のパラメータは、プラズマに供給されるエネルギー及びプラズマガス組成がある。加えて、トーチの装置及

び形態が、プリフォーム内の堆積速度に、影響を与える。そのような装置に関連したパラメータには、トーチの設計、トーチからプリフォームまでの間隔、トーチからプリフォームへ方向（たとえば、後に述べるように、プラズマがプリフォームの上か下か）及びプラズマトーチの周囲（すなわち、おおい）が含まれる。たとえば、トーチ基体の熔融石英延長部 5 1 8 は、プラズマ火球又は高温放電ガスが、RF コイル 5 1 2 に接触するのを防止するために、用いられる。それらはコイルの電気的特性を変え、それによってプラズマ位置が不規則に変ることがありうる。

【0038】本発明の方法は、（第2のガスを用いる実施例について、先に述べたように）プラズマ火球を、閉じ込め領域から、積極的に押し出すことなく行うのが、好ましい。プラズマ中心はプラズマトーチ出口から本質的に離れた閉じ込め領域中にとどまり、プラズマ火球の全体的な寸法は、高パワーにおける動作によって拡大し、プラズマ火球がトーチの外に広がることを、可能にする。更に、プラズマ火球の本質的な部分を、トーチの外側に置くことは、比較的高い放電ガスの流量によっても実現できると確信される。図5は基板管上の火球で実施する本発明の方法を、概略的に示す。この方法は装置を保持するため、マウントしたまま、加熱源 1 0 4 及び基板管 1 0 2 を逆転して、実施することもできる。あるいは、基板管の両方の側が、同時に加熱されるように、2つのトーチの構成を使用することができる。現在好ましい実施例は、火球を基板管の下にする構成を用いる。火球の位置を調整するための他の例については、7 7 1 特許中に述べられている。

【0039】基板管表面の温度は、トーチへの酸素の流れ、 O_2 と他のガスとの混合、プラズマへのラジオ周波エネルギー又は基板管表面への相対的なトーチの位置を調整することにより、変えることができる。

【0040】あるいは、本発明の方法に用いられるトーチは、火球が基板管に対して、様々な位置に置かれるよう、自動的に垂直方向に調整され、傾けられる。たとえば、プラズマトーチは、典型的な場合直径 3 0 ないし 6 0 mm の閉じ込め領域をもつ標準的なトーチと、寸法的には同様である。

【0041】現在好ましいガスとして、 O_2 又は O_2/Ar とともに、水素を含まないプラズマトーチ中に送るガス流量は、1 ないし 1 0 0 リットル/分である。閉じ込め領域の外に、プラズマを押し出すために、高イオン化閾値ガスを用いる実施例では、 N_2 が典型的な場合、高イオン化閾値ガスとして用いられ、流量は一般に 1 ないし 4 0 リットル/分の範囲である。ただし、He のような他の高イオン化閾値ガスも使用できる。高イオン化閾値ガスは、一般に放電ガスより、より高いイオン化のエネルギー閾値を、持たなければならない。

【0042】典型的な場合、2 0 ないし 4 0 kW、たとえ

ば 3 0 kW の出力パワーを供給する RF 発振器 5 1 4 によって励起されたプラズマ火球は、典型的な場合 0. 0 1 ないし 1 0 0 cm/秒の速度でプリフォームを横切り、プロセス中のプリフォームの約 1 メートルを、被う。一般に、プリフォームは、0. 1 ないし 2 0 0 rpm で回転させる。

【0043】水素を含まないプラズマトーチはまた、ガラス堆積物が生じた後、管をつぶすために、用いることもできる。ガラスプリカーサ反応物気体は、つぶし工程中、管内に保つことができる。

【0044】参考として、RF（無線周波（radio frequency））炉を、等温プラズマの代りに用いることができる。本質的に水素を含まない雰囲気中で RF 炉を用いることにより、プラズマトーチに関連して、上で述べた所望の結果を得ることができる。ファイバを引張るために、現在用いられている RF 炉は、本発明に従うプリフォームを作製するために、使用することができる。

【0045】本発明の様々な実施例について、上で述べてきたが、それらは例を示すためであって、限定するためではないことを、理解すべきである。当業者には、本発明の精神及び視野を離れることなく、形式及び詳細の様々な変形が行えることが、明らかであろう。従って、本発明は、上述のいずれの実施例にも限定されるべきではなく、特許請求の範囲及びそれらと等価なものに従ってのみ、規定される。上の記述中のすべての引用特許及び公表物は、ここに参照文献として、含まれている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従う水素を含まないトーチを用いた堆積プロセス用の装置の正面図である。

【図2】垂直部分の図1の装置の一部を示す図である。

【図3】プロセス中観察される状態を描いた基板管の断面図である。

【図4】従来のクラッドマルチモードファイバ（実線）及び本発明に従って作られたクラッドマルチモードファイバ（破線）についての波長（ナノメートル）に対する挿入損（dB/キロメートル）の関係を、プロットした図である。

【図5】本発明に従い、プラズマ閉じ込め領域内に、プラズマを保ったプラズマトーチの例を、概略的に描いた図である。図において、同様の参照数字は、同一又は機能的に同様の部分を示す。また図において、参照数字の最も左の桁は、参照数字が最初に用いられた図に対応する。管の寸法又は比率を実際通りに描くようには、していない。

【符号の説明】

1 0 1 旋盤

1 0 2 基板管、管

1 0 3 高温領域

1 0 4 加熱手段

1 0 5 a、1 0 5 b 矢印

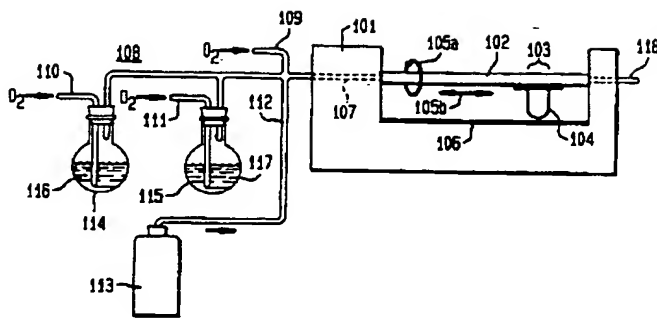
13

14

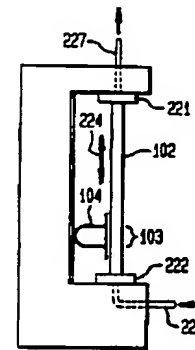
106 ねじ送り部
 107 入力管
 108 原料源容器
 109 酸素入力
 110、111 入力
 112、113、114、115 容器
 116、117 液体
 118 出力
 221、222 チャック
 224 矢印
 226 入力管
 227 排気
 331 プラズマ火球

332 高温領域
 333、334 矢印
 335、336 領域
 402 プロット
 404 プロット、曲線
 504 加熱源、マントル
 506 ガス源
 508 管
 510 プラズマ火球
 512 RFコイル
 514 RF発生器
 516 閉じ込め領域
 518 熔融石英延長部

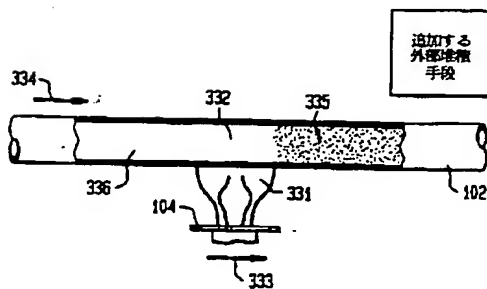
【図 1】



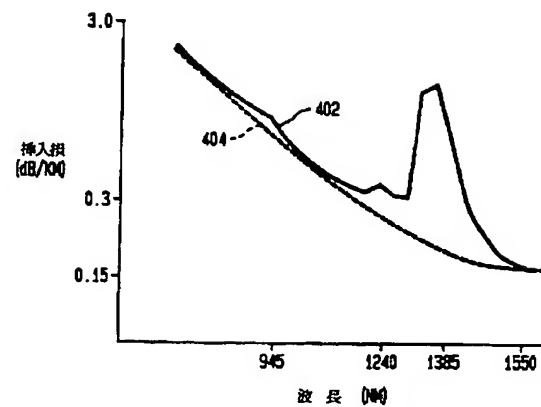
【図 2】



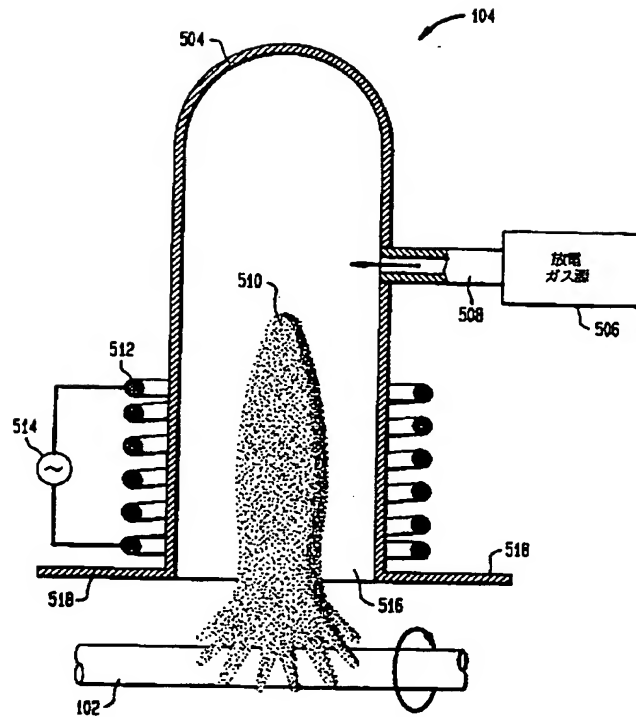
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 ゴードン アルバート トーマス
アメリカ合衆国 08540 ニュージャー
シー, プリンストン, ランダール ロー
ド 107

(56)参考文献 特開 昭60-90846 (J・P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁶, D B名)
C03B 37/018